

Ⅲ-A327

MBC 解析に基づくジョイントの変形と 透水係数の変化に関する基礎的研究

東京大学 正員 ○吉田 秀典, 堀井 秀之
(株)地層科学研究所 正員 菅原 健太郎

1. はじめに

石油備蓄に代表されるような岩盤地下タンクは、石油およびその蒸発ガスの漏洩を地下水の流れを利用して防ぐという原理に基づいて設計・施工される。したがって、岩盤地下タンクの適地としては、建設地点の岩盤が堅硬で割れ目が少ないという地質・岩質条件を満たす必要がある。しかしながら、一般的に我が国の岩盤は脆弱で、ジョイントに代表されるような割れ目を多数有するという特徴を有している。こうした割れ目は、岩盤地下タンクを掘削する前は地圧によって閉塞しているが、掘削に伴う応力解放によって変形を生じることが予想され、岩盤中の等水係数分布は、こうした割れ目の変形による影響を大きく受けるものと思われる。そこで本研究では、ジョイントの変形を考慮に入れた岩盤地下タンク掘削解析を行ない、ジョイントの変形が透水係数の変化に及ぼす影響を解析的に検討することを目的とした。

2. 串木野基地の概要

岩盤タンクの掘削解析例として、日本地下石油備蓄(株)が建設した串木野地下石油備蓄基地の掘削問題を取り上げ、解析コードとしてMBC解析¹⁾を採用して掘削解析を行なった。このタンクは卵型の断面形状を有し、幅18.0m、高さ22.0m、延長555mで、その総掘削量は約200万 m^3 (10ユニット)に及ぶ(図1参照)。

タンク設置地点は、主として火山岩類の分布地に位置し、その構成する地質は北陸中期安山岩類及び北陸中期安山岩類と呼ばれる新第三紀の安山岩、自破碎状安山岩、礫岩などである。全体としては割れ目間隔が100cm程度で、岩盤タンク周辺の岩盤等級としてはB級岩盤が卓越している。岩盤の透水係数は平均 $1.5 \times 10^{-7} \text{ cm/sec}$ と極めて低いが、断層、割れ目に起因する $10^{-3} \sim 10^{-4} \text{ cm/sec}$ オーダーの高い透水性を示す部分も存在した²⁾。

こうした現場計測・調査を基にして、解析で考慮する卓越ジョイントセットは、その走向が岩盤タンクとはほぼ平行な2種類(90度、左落ち70度)とし、それらの物性パラメータを表1のように設定した。また、卓越ジョイントを除いた連続体として取り扱われる基質岩盤の弾性係数を100,000 kgf/cm^2 、ポアソン比を0.25とした。

タンク設置地点の初期地圧としては、現場計測された3次元応力をタンク断面内応力に変換すると、最大主応力が23.25 kgf/cm^2 、最小主応力が22.85 kgf/cm^2 、最大主応力の方向が鉛直方向から反時計回りに39.1度となっており、本解析ではこれらを初期応力として用いた。解析は、頂設導坑掘削、アーチ部切り上げ掘削を行い(アーチ部)、その後6ステップの掘削(3ベンチ)を行ない、図2に示すような2つの断面について、合計16ステップを設けた。縦120m×横300mの矩形領域において2次元平面ひずみの条件下で解析を行った。

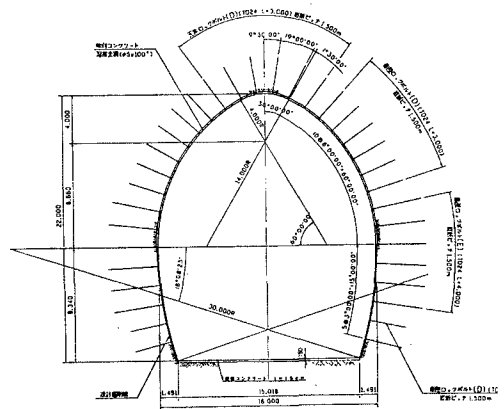


図1 岩盤タンクの規模

表1 ジョイントの物性パラメータ

傾斜	90度	左落ち70度
走行	空洞軸に平行	空洞軸に平行
平均間隔	1.0m	1.0m
有効寸法	10m	10m
摩擦角度	30度	30度
起伏角度	10度	10度

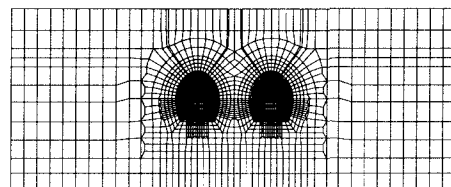


図2 有限要素メッシュ

キーワード: MBC 解析, ジョイント, 透水係数

〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学 大学院工学系研究科 TEL:0462-68-7327 FAX:0462-68-7328

3. 解析結果

岩盤タンクを施工する際、周辺岩盤の透水性は非常に重要である。岩盤の水理特性を考えるにあたっては、初期の亀裂群の存在による影響だけでなく、掘削中にジョイントが変形し、それによっても透水性の高い領域が新たに形成される可能性が高い。そこでまず、ジョイントの変形に着目し、全断面掘削後の両ジョイントセットの開口変位分布を図3及び図4にそれぞれ示した。MBC解析においては、ジョイントの変形は地圧の影響を強く受ける。一般的に空洞掘削においては、掘削に伴って空洞周方向には圧縮応力が卓越し、放射方向では応力が抜けていく傾向があるが、こうした卓越圧縮応力と平行にジョイントが存在するとジョイントは大きな変形を生ずる。例えば本解析では、左落ちのジョイントセットは、タンクアーチの左肩周辺では空洞の掘削線と平行に近いことに起因して大きく変形しており、また、タンク断面から見てこのジョイントセットが流れ目となるタンク右側の側壁付近でも変形量大きい。

次に、ジョイントセットの変形が透水係数を高めている主たる要因と考え、透水係数を開口変位量の三乗則に従うものと仮定し、以下のように定義した。

$$k^I = k_0^I + a(JOD_1^I)^3 + b(JOD_2^I)^3 \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 k^I ：局所透水係数、 k_0^I ：初期透水係数、 JOD_1^I ：90度のジョイントセットの開口量、 JOD_2^I ：左落ち70度のジョイントセットの開口量、 a, b ：定数である。尚、上添字の I は要素 I であることを示す。本解析では、計測結果より類推して初期透水係数を 1.5×10^{-7} cm/sと仮定し、さらに最も開口量の大きかった要素で最大の透水係数(1.0×10^{-3} cm/s)になるものとして式(1)より a, b を求め、各要素における開口変位量を用いて局所透水係数 k^I を計算した。その結果を図5に示す。これより、透水係数の高い領域はタンク断面に対して右側の方が、タンク断面に対して左側のそれより大きい。これは特に左側の岩盤タンク周辺において顕著である。これらの領域は、両ジョイントセットがともに大きく変形した領域と合致している。

4. まとめ

本研究では、岩盤タンク周辺の透水性が初期的な割れ目による影響だけでなく、掘削中にそうした割れ目の変形し、それによっても透水性の高い領域が新たに形成されるものとし、岩盤タンクのMBC掘削解析を行ない、割れ目の変形量に基づいて透水係数分布の試算を行なった。これより、割れ目の変形に伴う透水係数の変化を各掘削ステップごとに求めることができるが、透水係数の経時変化を求めることは、タンクの水封の効果や時期を考える際に重要な情報を与えるものと思われる。今後は、実測との比較を通して、本研究の妥当性を検討することが課題である。尚、本研究を行なうにあたって、日本地下石油備蓄(株)および清水建設(株)より貴重なデータを提供して頂いた。ここに付記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 吉田, 堀井: マイクロメカニクスに基づく岩盤の連続体理論と大規模空洞掘削の解析, 土木学会論文集, No.535/III-34, pp.23-41, 1996.
- 2) 長谷川, 宮下: 串木野地下石油備蓄基地における水封設計及び施工管理, 岩盤構造物の設計法に関する研究報告書, シンポジウム発表論文集, pp.1-4, 1997.

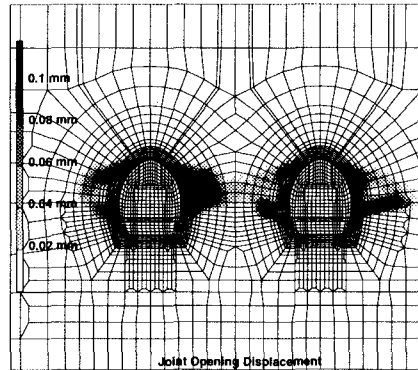


図3 90度の開口変位分布(全断面掘削後)

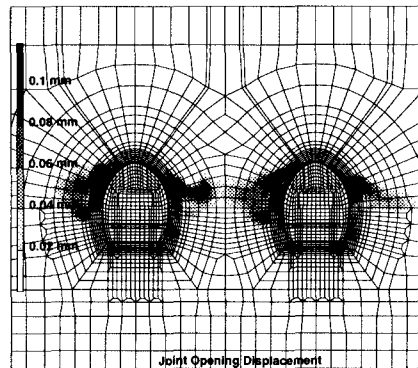


図4 70度の開口変位分布(全断面掘削後)

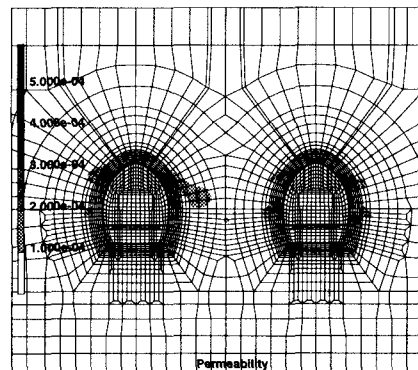


図5 透水係数分布図(全断面掘削後)